

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-335876  
(P2003-335876A)

(43)公開日 平成15年11月28日(2003.11.28)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
 C 0 8 J 5/24  
 G 0 1 B 7/16  
 // C 0 8 L 101:00

識別記号  
CE Z

F I  
C 0 8 J 5/24  
C 0 8 L 101:00  
G 0 1 B 7/18

テーマコード\*(参考)  
2 F 0 6 3  
4 F 0 7 2  
B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O.L. (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2002-248628(P2002-248628)  
 (22)出願日 平成14年8月28日(2002.8.28)  
 (31)優先権主張番号 特願2002-65156(P2002-65156)  
 (32)優先日 平成14年3月11日(2002.3.11)  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 301021533  
独立行政法人産業技術総合研究所  
東京都千代田区霞が関1-3-1  
 (72)発明者 張炳國  
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法  
人産業技術総合研究所つくばセンター内  
 (72)発明者 吉田均  
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法  
人産業技術総合研究所つくばセンター内  
 (72)発明者 大石竜太郎  
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法  
人産業技術総合研究所つくばセンター内

最終頁に続く

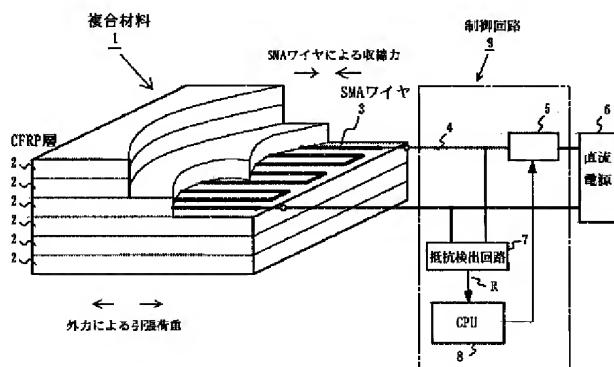
## (54)【発明の名称】 形状記憶合金埋め込み型複合材料

## (57)【要約】

【課題】 ひずみセンサとアクチュエータとを兼用して、材料数を少なくする。

【解決手段】 複合材料の母材に埋め込まれた予ひずみ付加SMAワイヤは、複合材料の変形・ひずみを検出し、その収縮復元力（アクチュエータ機能）により複合材料の損傷の抑制・修復を行う。プロセッサがSMAワイヤの電気抵抗値を抵抗検出回路で検出し、プロセッサ(CPU)によりひずみによる抵抗値変化を演算し、SMAワイヤの復元力を発生し、複合材料を自己抑制・自己修復する。複合材料に埋め込まれたSMAワイヤを損傷制御・修復するためのアクチュエータとして利用するのみならず、ひずみ、変形、損傷を検知するセンサとして利用する。これにより、複合材料に使用する材料の数を少なくすることができる。さらに、無負荷状態のもう一つのSMAワイヤを設け、その抵抗を測定することにより、SMAワイヤの抵抗値の温度補償を行う。

本発明の実施例



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】母材と母材に埋め込まれた形状記憶合金ワイヤと形状記憶合金ワイヤの電気抵抗値変化を検知する抵抗検出回路と形状記憶合金ワイヤの電気抵抗値変化が所定値になると形状記憶合金ワイヤに所定電流流す電流制御回路とを具備する複合材料であって形状記憶合金ワイヤの電気抵抗値変化により複合材料のひずみ、変形量、損傷を検知するとともに形状記憶合金ワイヤの復元力によって複合材料自身で抑制、修復することを特徴とする形状記憶合金埋め込み型複合材料。

【請求項2】複合材料の母材が纖維等の強化材であり、複合材料に発生する纖維等の強化材の破断を伴わないき裂や巨視的な損傷を自己抑制、修復することを特徴とする請求項1記載の形状記憶合金埋め込み型複合材料。

【請求項3】形状記憶合金ワイヤの電気抵抗値を検知する抵抗検出回路と抵抗検出回路の測定抵抗値に基づいて、該抵抗値の変化を検知するとともに、形状記憶合金ワイヤの復元力の制御を行い、複合材料に生じる変形、ひずみ、損傷の自己抑制、自己修復するプロセッサとを具備することを特徴とする請求項1又は請求項2のいずれか記載の形状記憶合金埋め込み型複合材料。

【請求項4】温度補償用の第2の形状記憶合金ワイヤを形状記憶合金ワイヤの近辺に応力に対して無負荷状態で設け、形状記憶合金ワイヤと第2の形状記憶合金ワイヤとを抵抗検出回路に接続することにより形状記憶合金ワイヤの抵抗値を温度補償して検出できるようにしたことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか記載の形状記憶合金埋め込み型複合材料。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複合材料の変形、ひずみ、損傷を自己検知して自己抑制、自己修復機能を持たせたスマート材料(Smart Material, 知的材料)に関し、特に複合材料を構成する材料自身に自己検知と自己抑制、自己修復機能とを兼ねた形状記憶合金を使用した知的材料に関する。

## 【0002】

【従来の技術】構造材料や構造物において、材料内部に発生した変形、ひずみ、損傷の検知(センサ機能)には光ファイバが幅広く使用されている(島田明佳ほか、

「光ファイバセンサ船体損傷検知システム」、電子情報通信学会雑誌、第7-10巻、(1999年11月);芳我攻、「埋設光ファイバによるスーパーハイブリッド材料の疲労き裂モニタリング」、材料、第148巻4号、第403~第409頁(1999);北出真太郎ほか、「光ファイバを用いたFRP積層板の衝撃損傷検知試験」、材料、第44巻第504号、第1196-1200頁(1995)等)。

【0003】しかし、光ファイバのアセンブリ・コストおよび検知用システムのコストは高い。また、光ファイ

バ自身が損傷を受けやすく、材料内部で光ファイバが損傷してしまう可能性がある。この場合、変形、ひずみ、損傷の検知は不可能になってしまう。また、ひずみゲージを構造物の表面に貼り付け、ひずみを検知して、変形、ひずみ、損傷を検知することができる。しかし、この方法では、ひずみゲージ付近の局所状態しか検知できず、材料全体に亘ってひずみを検知することはできない。また、ひずみゲージにはその耐久性に問題がある。さらに、これらは損傷検知という機能(センサ機能)のみであった。

【0004】一方、構造材料や構造物における変形、ひずみ、損傷を抑制、修復する手段として、材料に埋め込まれた形状記憶合金(SMA, Shape Memory Alloy)が使用されている。これは形状記憶合金の相変態による記憶形への復元力機能(アクチュエータ機能)を利用し、材料の損傷抑制、修復を行うものである。

【0005】上記のセンサとアクチュエータの材料を2つ以上組み合わせた構造体などの材料に変形、ひずみ、損傷の検知機能を有する光ファイバなどのセンサと、また材料の変形、ひずみ、損傷の抑制、修復機能を有するSMAワイヤとを埋め込んだ知的材料が製作されている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、複合材料に多数の異種材料を入れることは各構成材料および全体構造の劣化につながり、好ましくない。したがって、複合材料は極力その材料数を少なくする必要がある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため30に、本発明は、複合材料の母材に埋め込まれた形状記憶合金ワイヤに、変形、ひずみ、損傷の検知機能と抑制、修復機能の2つの機能を同時に具備させた部材を含むスマート複合材料(知的複合材料)を提供する。

【0008】本発明者らは、付加的応力、荷重によるSMAのひずみはその電気抵抗値と所定の関係にあることを知見した。複合材料に埋め込まれたSMAの電気抵抗値変化を検出することによって、複合材料の変形、ひずみを検出し、さらに、複合材料の変形、ひずみは、その損傷度合いと関係があるところから、SMAの電気抵抗値変化を検出することによって、その損傷状態の検知を可能とした。

【0009】本発明は、複合材料の母材に埋め込まれた予ひずみ付加SMAワイヤの電気抵抗値を抵抗検出回路が検出し、プロセッサがひずみによる抵抗値変化を演算することにより複合材料の変形、ひずみを検出し、さらに、プロセッサによって通電加熱制御されたSMAワイヤの収縮復元力(アクチュエータ機能)により複合材料の損傷の抑制、修復を行うことができる複合材料を提供する。

【0010】さらに、本発明は、温度補償用の第2の形

状記憶合金ワイヤを形状記憶合金ワイヤの近辺に応力に對して無負荷状態で設け、形状記憶合金ワイヤと第2の形状記憶合金ワイヤとを抵抗検出回路に接続することにより形状記憶合金ワイヤの抵抗値を温度補償して検出できるようにした形状記憶合金埋め込み型複合材料を提供する。

【0011】本発明では複合材料に埋め込まれたSMAワイヤを損傷制御、修復するためのアクチュエータとして使用するのみならず、ひずみ、変形、損傷を検知するセンサとして利用する。これにより、複合材料に使用する材料の数を少なくすることができる。また、プロセッサを設けて、自己検知、自己抑制、自己修復機能をもった複合材料を実現できる。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】本発明は信頼性が要求される様々な種類の複合材料・構造体に応用が可能である。ここでは複合材料・構造体の母材として宇宙・航空分野を始め、様々な分野に実用化が幅広く期待されている炭素繊維強化材(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastics)を一実施例として説明する。

【0013】図1は、本発明の自己検知、自己抑制、自己修復機能をもった複合材料実施例を示す。図中、1はSMAワイヤ埋め込み型CFRP複合材料片、2は複合材料母材のCFRP材層、3はSMAワイヤ、4は導線、5は電流制御回路、6は直流電源、7は抵抗検出回路、8は抵抗値変化を演算し、電流制御回路9の出力電流を制御するCPU、9は制御回路を表す。制御回路9はCFRP複合材料に一体的に構成しても良い。

【0014】図1の例は、CFRP複合材料片中にTi-Ni系SMAワイヤを埋め込み、損傷抑制、損傷修復機能を付与したSMA埋め込み型CFRP複合材料片の例を示す。SMAワイヤにはTi-Ni系(50.5%原子Ni)の直径0.4mmのワイヤを、母材には幅50mm、厚さ0.2mmのCFRPプリプレグを使用した。CFRP複合材料にSMAワイヤ3を埋め込む前に、引張試験機でSMAワイヤに引張荷重をかけ、約3%(0.5~7%の場合もある)の予ひずみを与える。CFRPプリプレグ6層(積層の構成は[0<sub>1</sub>/90<sub>4</sub>/0<sub>1</sub>])の中層部にSMAワイヤ3を1mm(1~4mm間隔の場合もある)で挟んで成形積層体は成形積層される。そのSMAワイヤを埋め込んだCFRP成形積層体をホットプレス機により180°C、0.3MPa、2時間の条件で加熱、加圧することによりSMAワイヤ埋め込みCFRP複合材料を製造し、それを切断して幅10mmの複合材料片を作成した。

【0015】複合材料片中のSMAワイヤ3には直流電源6から電流制御回路5によって制御された0.5~5Aの電流を流すことによって、SMAワイヤが加熱され(SMA通電加熱)収縮復元力が発生し、複合材料は収縮する。図2は、複合材料に引張り応力を加えて、積層板内部に生じた損傷欠陥と残留ひずみを与えた後、図1のS

MAワイヤ埋め込みCFRP複合材料1のSMAワイヤ3に、通電加熱することによって生じる複合材料中のSMAワイヤによる回復力の評価例を示す。縦軸は複合材料のひずみ△L/L、横軸は複合材料の温度を表す。ここで、Lは複合材料の元の長さ、△Lはその変位を表す。

【0016】図2中の、0%, 1%, 3%, 5%はSMAワイヤに付加された予ひずみを表す。予ひずみを与えなかった複合材料片(0%予ひずみ)では、通電加熱によって発生したひずみは膨張の傾向を示している。これは、予ひずみがないためSMAに収縮復元力が発生せず、樹脂の熱膨張に起因していると考えられる。

【0017】これに対して、予ひずみを付与した複合材料片では温度上昇につれ、圧縮ひずみが増大し、この傾向は予ひずみが大きい程顕著である。このことから、予ひずみを与えることによって、アクチュエータとしての機能が働き、母材の損傷を抑制、修復するための収縮力が得られていることがわかる。

【0018】図3は、引張荷重をかけながら複合材料(CFRP層+SMAワイヤ)にひずみを与える、そのときのSMAワイヤの電気抵抗変化率と複合材料のひずみとの関係を示す。図の縦軸はSMAワイヤの電気抵抗変化率△R/R、横軸はひずみを表す。ここで、Rは複合材料変形前における(複合母材にひずみがないときの)SMAワイヤの電気抵抗値、△Rはひずみ、変形が発生したときのSMAワイヤの電気抵抗値変化量を表す。

【0019】図3に示すように、複合材料のひずみに対してSMAワイヤの電気抵抗値は増加する傾向にあることが分かる。一方、母材のひずみが増加するにつれて、30材料内部に発生するトランスバースクラック(Transverse crack、複合材料片内部に発生した纖維破断を伴わないき裂)の数は増加する。これらから、埋め込まれたSMAワイヤの電気抵抗値増加は、材料内部に発生するトランスバースクラック数の増加、すなわち損傷増加に対応していると考えられる。したがって、埋め込まれたSMAワイヤの電気抵抗値変化を検知することにより変形、ひずみ、損傷状態の検知が可能で、埋め込みSMAワイヤをセンサとして使用することができる。

【0020】図4は、CFRPの損傷度(複合材料片に40発生したトランスバースクラックの発生の数)とひずみの関係を表す。このとき、トランスバースクラック数は光学顕微鏡を用いて測定した。一般に、図4に示したように、CFRPの損傷度はひずみに関係し、あるひずみ以上でトランスバースクラック数が急速に増加し、それが複合材料全体の破壊(致命的な破壊)に発展する。

【0021】致命的な材料破壊を防ぐためには、複合材料全体に破壊が発展する前に、それを検知し、CFRP材料のひずみを一定値(しきい値)以下に抑制する必要がある。図4の特性例で説明すると、例えば、ひずみが501.5%以上になったとき、すなわち、図3のSMAワ

ヤの電気抵抗変化が約7%以上になったとき、SMAワイヤを通電加熱してSMAワイヤに収縮復元力を与え、CFRP複合材に収縮力を付与する。これによって、CFRP複合材料の損傷を抑制、修復する効果が発現される。

【0022】したがって、複合材料全体の破壊を抑制するには、埋め込まれたSMAワイヤの電気抵抗変化を測定し、あるしきい値以上（この場合約7%以上）になつたら、SMA通電加熱により材料の損傷抑制が可能となる。また、プロセッサはSMAワイヤの電気抵抗値変化を演算し、複合材料の変形・ひずみ・損傷状態を診断することができる。

【0023】本発明の図1の実施例は、以上の原理を使用した装置を含む複合材料片である。複合材料片1に図の矢印方向の引張荷重が負荷されると、母材とともにSMAワイヤ3もひずみ、変形する。抵抗検出回路7はマルチメータ及びSMAワイヤを1枝とするブリッジ回路、及び測定用電源を含み、測定サンプル時間ごとにSMAワイヤ3の抵抗Rを計測する。

【0024】プロセッサ(CPU)8は、所定サンプル時間ごとに抵抗検出回路7から計測抵抗値を取り込み、抵抗値が複合材料の破損前に比べて大きく変化した（図3、図4の例では約7%変化）と判断すると、抵抗検出回路7を導線4から切り離し、電流制御回路5からSMAワイヤ3に所定の電流を流し、SMAワイヤ3を加熱する。通電加熱されたSMAワイヤは図の矢印方向に収縮力を生じ、複合材料のひずみ、変形を収縮して、複合材料のひずみ、変形を抑制、修復させる。

【0025】十分な収縮力が得られる加熱時間を経過すると、電流制御回路5からの通電加熱電流は遮断される。同時に、抵抗検出回路7は再び導線4に接続され、SMAワイヤの抵抗検出が再開され、次のひずみ検知、修復制御に備える。このように複合材料への引張りひずみが所定値以下になるようSMAワイヤの収縮力が制御される。SMAワイヤの抵抗値は予ひずみ、通電加熱による母材の温度上昇により、変動するが、本発明では抵抗値変化率によりひずみ状態を検知しているので、この抵抗値変動は無視できる程度に小さくなる。無視できないときは、プロセッサ(CPU)の抵抗値変化率演算で校正すれば良い。

【0026】CFRP複合材料の場合、損傷は微視的なもの（トランスバースクラック）と巨視的なものとが考えられる。図5は引張荷重によって複合材料片内部に発生したトランスバースクラックが、本発明の損傷修復機能によって修復された結果を示している。このとき、埋め込まれたSMAワイヤの予ひずみは3%である。図5(a)は、矢印方向の引張荷重によってトランスバースクラックが発生した状態を示す。損傷状態を自己検知して、複合材料に埋め込まれたSMAワイヤを通電加熱することにより、逆変態温度( $A_f = 52.3^{\circ}\text{C}$ )以上の温度

80°Cまで加熱した。このとき、予ひずみ付加SMAワイヤがマルテンサイト相からオーステナイト相へ相変態し、SMAワイヤに収縮復元力を発生する。図5(b)は、これによって、トランスバースクラックを塞ぐ方向に複合材料片全体が収縮して、修復された複合材料片の状態を示す。

【0027】図6は、引張荷重などにより大きな損傷が発生した場合の複合材料片の損傷修復結果を示す。図6から、トランスバースクラックより大きな複合材料の損傷に対しても本発明のSMAワイヤ埋め込み型複合材料で修復可能なことが確認された。このことからCFRPに埋め込まれたSMAワイヤをアクチュエータとして利用し、発生したトランスバースクラックや大きなき裂を修復できることが分かる。

【0028】これらの結果から、従来、変形、ひずみ、損傷の抑制、修復機能のためアクチュエータとして用いてきた埋め込み型SMAワイヤを、変形、ひずみ、損傷検知のためのセンサとして使用することが可能になった。これによって、1種類の材料(SMAワイヤ)のみを母材に埋め込み、変形、ひずみ、損傷の検知、抑制、修復機能を同時に備えた複合材料製作を実現化した。また、プロセッサ(CPU)がSMAワイヤの電気抵抗値変化から複合材料の変形、ひずみ、損傷を診断、その結果によって変形、ひずみ、損傷の抑制、修復を行うことのできる知的複合材料を実現した。（図6参照）。

【0029】図7は、本発明の他の実施例で、図1の実施例とは複合材料の2方向に加えられるひずみに対して、ひずみ状態の検出および損傷の抑制、修復ができるようにした複合材料片である点で相違する。複数個の複合材料を結合、貼り合わせて大きな表面の複合材が製造できる。複合材料に発生する損傷の抑制、修復の原理は図1の実施例と同じである。

【0030】図7中、11Aは図1の複合材料片に対応して図の横方向のひずみ検出、損傷の抑制、修復する複合材料片、11Bは図1の上下方向のひずみに対して、ひずみ検出および損傷の抑制、修復ができるようにした複合材料片を表し、両者で1つの複合材料片11を構成する。3A1、3B1はSMAワイヤ、4A1、4B1はSMAワイヤを通電加熱するための電流を供給する導線、5A1、5B1は定電流制御回路を表す。

【0031】さらに、図中、12A並びに13A、12B並びに13B、12並びに13、42A並びに43A、42B並びに43B、52A並びに53A、52B並びに53Bのものは、それぞれ複合材料片11A若しくは11B、両者で構成される複合材料片11、導線41A若しくは41B、電流制御回路51A若しくは51Bのものと同一のものを表す。

【0032】71はSMAワイヤ31A、31B、32A、32B、33A、33Bの抵抗を計測する抵抗検出回路、81はプロセッサ(CPU)を表す。抵抗検出回

路7はマルチメータ及びSMAワイヤを1枝とするブリッジ回路及び測定用電源を含み、測定サンプル時間ごとに導線4 A, 4 B, 42 A, 42 B, 43 A, 44 Bを測定サンプル時間で切り替えて、各SMAワイヤの抵抗値R 1 A, R 1 B, ..., R 3 A, R 3 B Rを計測する。

【0033】SMAワイヤの抵抗値の変化率が所定値になるSMAワイヤを抵抗検出回路7が検出すると、そのSMAワイヤを通電加熱する。通電加熱されたSMAワイヤは収縮力を生じ、その複合材料片のひずみ、変形を収縮して、複合材料のひずみ、変形を抑制、修復させる。

【0034】ところが、SMAワイヤの抵抗値は、一般的の金属と同様にひずみのみではなく温度によっても変化するため、温度による影響を取り除く必要がある。さらに、SMAワイヤには相変態があるため、温度による抵抗変化は複雑である。図8はSMAワイヤ電気抵抗値の温度依存性の測定例を示す。図中下部の示差走査熱量曲\*

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_s - R_{s0}}{R_{s0}} = \frac{R_s}{R_{s0}} - 1 \quad \dots \quad (1)$$

【0037】この中の温度依存性を取り除くためには、リファレンス・ワイヤの電気抵抗値R<sub>r</sub>で規格化する。すなわち、次の式(2)で算出される。ここで、R<sub>r0</sub>はリファレンス・ワイヤの初期抵抗値を表す。これによって温度依存性を取り除くことができる。

【0038】

【数2】

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_s}{R_r (R_{s0}/R_{r0})} - 1 \quad \dots \quad (2)$$

【0039】図9は、図1の形状記憶合金埋め込み型複合材料の別の実施例を示す。図1の実施例と相違する構成は、無負荷状態で設置されたリファレンス・ワイヤ3Rとリファレンス・ワイヤの抵抗値を測定するために抵抗検出回路7に接続された導線4 A, 4 Bを新たに設けた点である。2つのリファレンス・ワイヤ3R, 3Rは、図のCFRP層で隠れた側の端で接続されている。リファレンス・ワイヤ3Rは、SMAワイヤ3の付近で、無負荷状態になるような位置に設置され、SMAワイヤ3の温度と対応する温度状態となるようにしてある。

【0040】リファレンス・ワイヤ3Rは複合材料ブロックの周辺部又は隅部に設置されると、抵抗の測定に際してリファレンス・ワイヤ3Rに印加される応力の影響が少なく、実際の通電制御ではその影響を無視しえるものであり、実質的に無負荷状態が維持されていると同等に作用する。また、複合材料ブロック内に貫通孔を設け、その中にリファレンス・ワイヤ3Rを設置することによって、リファレンス・ワイヤ3Rをほぼ無負荷状態にすることもできる。

\*線（任意単位、Arbitrary unitで表示）において箇所30°C、60°C付近（相変態温度）の急激に変化している温度で、SMAワイヤは相変態が起きていることを示している。相変態温度において、上部の電気抵抗値が急激に変化していることが分かる。それ以外の温度帯では、一般的の金属と同様に単純増加である。そこで、SMAワイヤのひずみ・変形による抵抗変化のみを検出するため、SMAワイヤの温度変化に対する抵抗値変化を取り除く必要がある。

10 【0035】そのため、ひずみの影響を受けないもう一つのSMAワイヤ（リファレンス・ワイヤ）を用いて温度依存性を取り除く。温度補償なしの場合、電気抵抗変化( $\Delta R/R$ )は、次の式(1)によって算出される。式(1)中で、R<sub>s</sub>はSMAワイヤの電気抵抗値でひずみに依存し、R<sub>s0</sub>は初期抵抗値で規格化のための定数を表す。

【0036】

【数1】

$$\frac{R_s}{R_{s0}} - 1 \quad \dots \quad (1)$$

※【0041】SMAワイヤ3、リファレンス・ワイヤ3Rの抵抗値は、その初期抵抗値R<sub>s0</sub>、R<sub>r0</sub>とともに抵抗検出回路7のマルチメータにより測定され、その値はプロセッサ(CPU)8内のメモリに記録される。プロセッサ(CPU)8は式(2)により温度補償された電気抵抗値変化 $\Delta R/R$ を算出する。この電気抵抗値変化 $\Delta R/R$ に基づいてSMAワイヤの歪み $\Delta L/L$ を正確に求め、図1の実施例同様な方法で、検知、制御を行う。図7の実施例に適用できることは勿論である。

30 【0042】図10は、26°Cと3°Cの2種類の環境下で、リファレンス・ワイヤ3Rを用いて、温度補償を行った結果を示す。図中、下の2本の線が温度補償をしない場合、上の2本の線が温度補償をした場合の電気抵抗値変化 $\Delta R/R$ とSMAワイヤの歪み $\Delta L/L$ の測定例である。温度補償を行うことにより、温度依存性を（縦軸への平行移動）を抑えることができ。図の例では、温度補償は完全ではないが、誤差は0.004%/°C程度であり、充分実用に耐える補償となっている。

【0043】

40 【発明の効果】形状記憶合金ワイヤのみ1種類を構造体に埋め込み、センサとアクチュエータとして使用することで、変形、ひずみ、損傷の検知、抑制、修復機能を同時に備えた複合材料が可能となった。これにより、スマート複合材料を用いた構造物の単純化、コストダウンが可能となった。また、様々な構造体の信頼性、安全性を向上し、構造体の寿命を長くすることができる。さらに、形状記憶合金ワイヤのすぐ近くに無負荷状態の形状記憶合金ワイヤを設け、その抵抗値を測定することにより、SMAワイヤの抵抗値の温度補償を行い、変形、ひずみ、損傷の検知、抑制、修復機能を正確に行うことが

できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のひずみ、変形、損傷の自己検知、自己抑制、自己修復機能をもった複合材料実施例を示す図である。

【図2】複合材料のSMAワイヤに、通電加熱することによって生じるSMAワイヤによる回復力評価例を示す図である。

【図3】引張荷重をかけながら複合材料(CFRP層+SMAワイヤ)にひずみを与え、そのときのSMAワイヤの電気抵抗変化率と複合材料のひずみとの関係を示す図である。

【図4】CFRP複合材料片の損傷度(複合材料片に発生したトランスポースクラックの発生の数)とひずみの関係を表す図である。

【図5】発生したトランスポースクラックの本発明による修復を示す図で、(a)は複合材料に発生したトランスポースクラックを、(b)はトランスポースクラックが修復された結果を示す図である。

10

【図6】発生したより大きな損傷の本発明による修復を示す図で、(a)はより大きな損傷の発生を、(b)は損傷が修復された結果を示す図である。

【図7】本発明の他の実施例を示す図である。

【図8】SMAワイヤの電気抵抗値の温度依存性を示す例である。

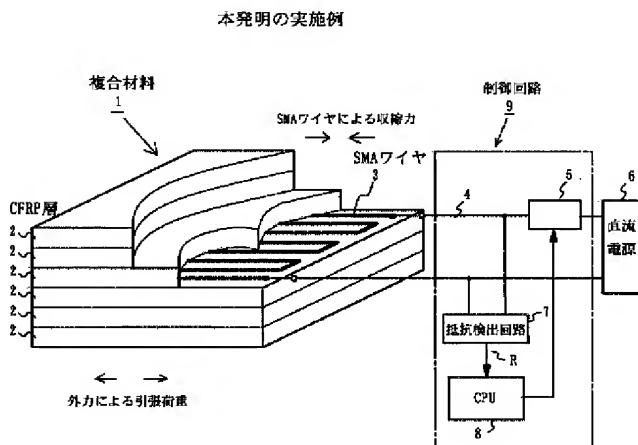
【図9】本発明の別の実施例を示す図である。

【図10】図8の実施例の温度補償例を説明する図である。

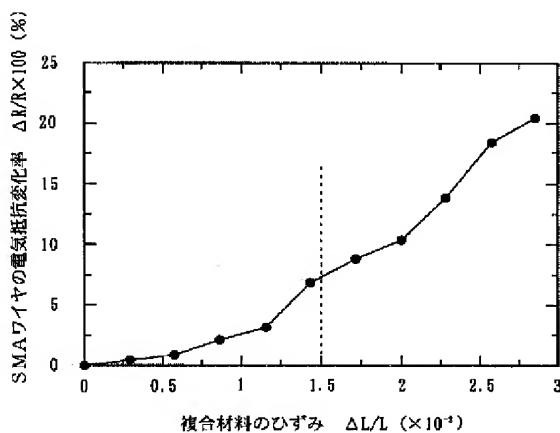
#### 【符号の説明】

1, 11A, 11B, 11	複合材料片
2	CFRP層
3, 31A, 31B	SMAワイヤ
3R	リファレンス・ワイヤ
4, 41A, 41B	導線
5, 51A, 51B	電流制御回路
6	直流電源
7, 71	抵抗検出回路
8, 81	プロセッサ(CPU)

【図1】

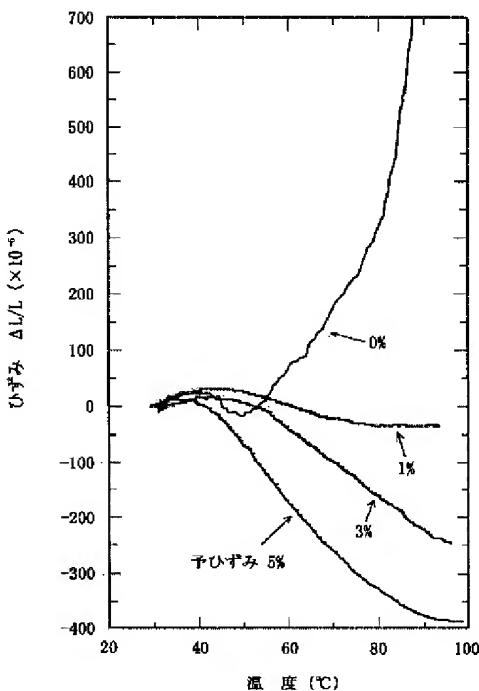


【図3】



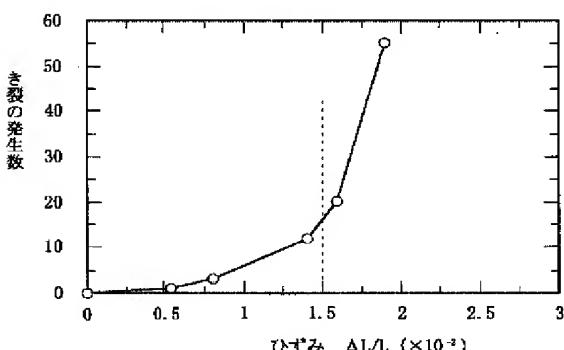
【図2】

スマート複合材料内部で通電加熱による収縮力の評価



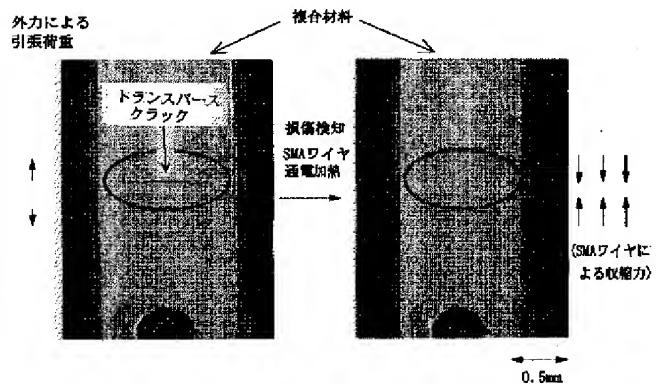
【図4】

ひずみ変化率によるき裂（トランスペースクラック）の発生数



【図5】

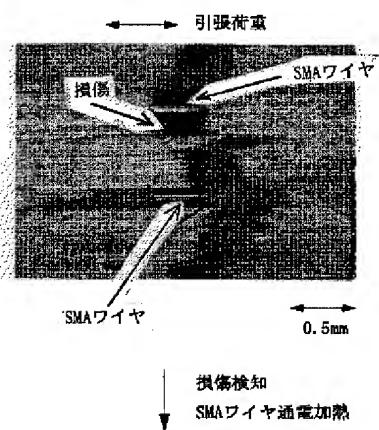
本発明による複合材料内部に発生したトランスペースクラックの修復



【図6】

本発明による複合材料内部に発生したより大きな損傷の修復

(a) より大きな損傷の発生

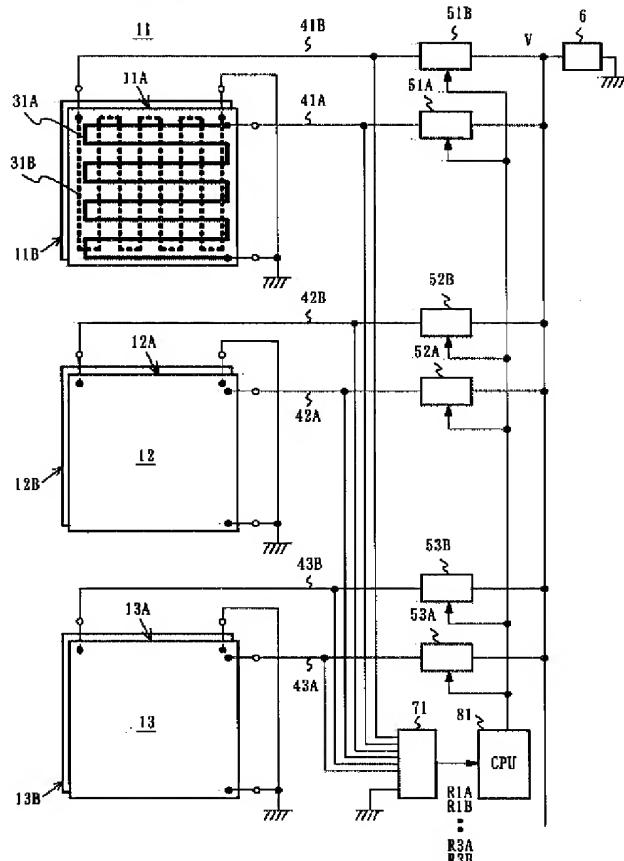


(b) より大きな損傷の修復結果



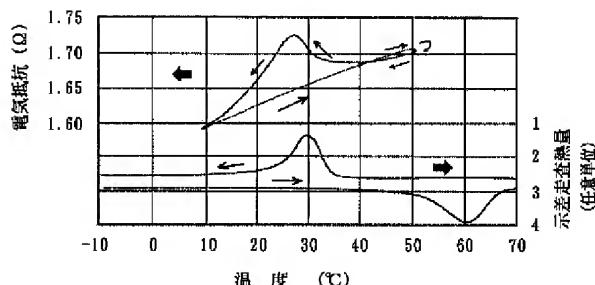
【図7】

本発明の他の実施例



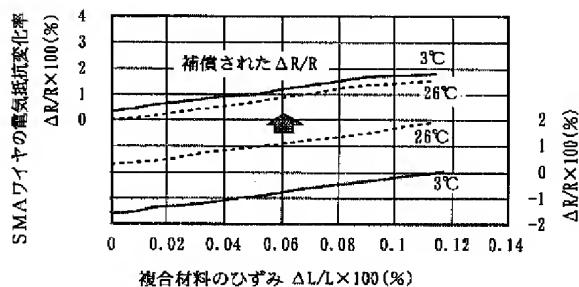
【図8】

SMAワイヤの電気抵抗値



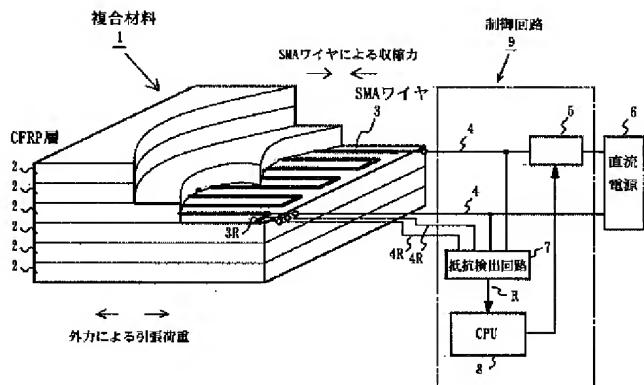
【図10】

埋め込みSMAの場合の温度補償結果



【図9】

本発明の別の実施例



フロントページの続き

(72)発明者 永井 英幹

茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人  
産業技術総合研究所つくばセンター内

(72)発明者 岸 輝雄

茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人  
産業技術総合研究所つくばセンター内  
Fターム(参考) 2F063 AA25 BA17 CA29 DA05 DA22  
DC08 EC05 FA12 LA27  
4F072 AA01 AA06 AB10 AG03 AG17  
AK05 AK14 AL02 AL09

**PAT-NO:** JP02003335876A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2003335876 A  
**TITLE:** COMPOSITE MATERIAL HAVING SHAPE-MEMORY ALLOY EMBEDDED THEREIN  
**PUBN-DATE:** November 28, 2003

**INVENTOR-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
CHO, HEIKOKU	N/A
YOSHIDA, HITOSHI	N/A
OISHI, RYUTARO	N/A
NAGAI, HIDEMIKI	N/A
KISHI, TERUO	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL & TECHNOLOGY	N/A

**APPL-NO:** JP2002248628

**APPL-DATE:** August 28, 2002

**PRIORITY-DATA:** 2002065156 (March 11, 2002)

**INT-CL (IPC):** C08J005/24 , G01B007/16

**ABSTRACT:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To decrease the number of materials by making a distortion censor serve also as an actuator.

SOLUTION: A previously distorted shape-memory alloy (SMA) wire embedded in a matrix material of a composite material detects deformation or distortion of the composite material, and restrains and restores damages of the composite material by its contracting and restoring power (actuator functions). A processor detects an electric resistance of the SMA wire by a resistance detecting circuit, calculates the changes in the resistance caused by distortion by a processor (CPU), and generates restoring power for the SMA wire to self-restrain and self-restore the composite material. The SMA wire embedded in the composite material is utilized not only as the actuator for restraining and restoring damages but also as a censor for detecting distortion, deformation and damages. Thus, the number of materials used for the composite material can be decreased. The temperature compensation of the resistance of the SMA wire can be made by providing another SMA wire in an unloaded state to measure the resistance of the SMA wire.

COPYRIGHT: (C) 2004, JPO